

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Самойловой Ольги Михайловны

«Глубинная электропроводность прибрежных районов Восточной Камчатки»,

представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-

минералогических наук по специальности

25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Диссертационная работа О.М. Самойловой посвящена глубинному строению Камчатской окраины Евразии, расположенной на стыке Евразийской и Северо-Американской тектонических плит. В связи с этим диссертация вызывает закономерный интерес исследователей разных специальностей, занимающихся изучением геодинамики переходной зоны «океан-континент».

Расшифровка строения этой сложной в тектоническом и геологическом отношении области может быть осуществлена только на основе широкого комплекса геолого-геофизических методов, в числе которых изучение аномалий электромагнитного поля методом магнитотеллурических зондирований (МТЗ) занимает одно из ведущих мест, поскольку эти аномалии содержат ценную информацию о термодинамическом состоянии земной коры и верхней мантии.

Собственно говоря, из-за сложностей расшифровки строения литосферы, включая её приповерхностную часть, возникают трудности и в постановке задач при исследовании верхней мантии. Поэтому попытки преодолеть указанные трудности и построить модели глубинного строения коры и верхней мантии Камчатки заслуживают внимания. Особенно это касается слабоизученного восточного побережья региона со сложным очертанием береговой линии, где в сильной степени проявляется береговой эффект, создающий проблемы в изучении глубинной электропроводности литосферы в зоне субдукции и за ее пределами. В этой связи существует необходимость в создании глубинных геоэлектрических моделей восточного побережья северной и южной Камчатки с учетом особенностей проявления трехмерного берегового эффекта, что, в конечном счете, и определяет **актуальность диссертации.**

Фактический материал и методы исследований

В основу сделанных научных обобщений положен большой и оригинальный фактический материал, в который включены данные, полученный лично соискателем. Используются данные, полученные в ходе электроразведочных работ, выполненных с 2012 по 2017 гг. с помощью одного из ведущих методов изучения глубинной электропроводности – методом магнитотеллурических зондирований (МТЗ). Работы выполнены по профилю «Северный» вдоль северо-восточного побережья от п. Оссора до п. Тилички, общей протяженностью 350 км, и по профилю «Южный», протягивающемуся на 215 км от п. Николаевка до бухты Ходутка на юго-восточном побережье региона. В качестве дополнительной информации привлечены данные магнитовариационных зондирований (МВЗ), полученные вдоль указанных профилей. Полевые работы выполнялись предприятием ОАО «Камчатгеология» совместно с компанией ООО «Северо-Запад» в рамках долговременной программы геолого-геофизических исследований земной коры и верхней мантии Камчатки.

Структура, объем и содержание диссертации

Диссертация логично построена и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы общим объемом 107 страниц, включающим 32 иллюстрации и 2 таблицы. Список литературы состоит из 122 наименований, в том числе 25 иностранных.

Глава 1 «**Геолого-геофизическая характеристика районов исследования**» представляет собой краткую геолого-геофизическую характеристику районов исследования. В этой главе представлены подробные сведения о геолого-тектоническом строении и геофизической изученности районов восточного побережья Камчатки, в которых расположены региональные профили «Северный» и «Южный».

Замечания по главе:

1. Очень мало рисунков, особенно при описании тектоники и сейсмичности.
2. Не совсем понятно описание гравитационного поля Камчатки, приведенное согласно рис. 1.3. На рисунке приведены аномалии Фая и изостатические аномалии. В тексте же речь идет просто о «интенсивности поля», редукция которого не указана.

Но применение той или иной редукции при вычислении аномалий силы тяжести является ключевым моментом в последующем использовании аномалий. В зависимости от того, в какой редукции вычислена аномалия гравитационного поля, зависит и правомерность ее использования при интерпретации геолого-геофизических данных. Например, причины изменения интенсивности изостатических аномалий принципиально отличаются от таковых для аномалий Фая, которые используются только при изучении морфологических особенностей геологических структур и неприменимы при исследовании вещественного состава последних. Приходится только догадываться, где и какие аномалии использовались. Также на рис. 1.3 показаны почему-то только морские профили. Изолинии наземной съемки приведены без наземных гравиметрических профилей. Если съемка была площадная, то можно было бы показать границы площадей. Кроме того, нигде не указана точность и детальность гравиметрических работ. Все это затрудняет оценку качества используемых гравиметрических данных.

В гл. 2 «**Современные представления о магнитотеллурических методах**» приведена история развития метода МТЗ от первых попыток использовать естественное переменное электромагнитное поле Земли для геологических целей до характеристики современного состояния этого метода и описания современного графа анализа и обработки экспериментальных материалов.

Замечания по главе:

По мнению рецензента, не совсем оправдан параграф 2.1, в котором сообщаются сведения об истории возникновения магнитотеллурических методов, поскольку любой метод исследований обладает своей историей, которой посвящено огромное количество разнообразных и доступных публикаций.

В главе 3 «**Анализ экспериментальных данных по региональным профилям «Южный» и «Северный»**» приводится подробный анализ экспериментальных данных МТЗ. В результате рассмотрения полярных диаграмм компонент тензора импеданса, параметра неоднородности и параметров асимметрии установлено, что восточное побережье как северной, так и южной Камчатки отличается сложным геоэлектрическим строением в виду наложения мелких локальных приповерхностных неоднородностей на крупные региональные структуры.

Кроме того, характеризуются экспериментальные амплитудные и фазовые кривые МТЗ в направлениях, ориентированных по простиранию и в крест простирания п-ова. По форме кривых МТЗ проведено районирование восточного побережья южной и северной Камчатки. По типам геоэлектрического разреза через организацию в семейства кривых МТЗ, близких по форме, профиль «Южный» разделен на 15 семейств, а профиль «Северный» – на 8. Изучение таких семейств показало, что продольные и поперечные кривые подвержены шифт-эффекту, связанному с действием избыточных гальванических зарядов, концентрирующихся на границах приповерхностных локальных неоднородностей. Для подавления шифт-эффекта использована методика конформного осреднения кривых МТЗ. В заключительной части главы приводится анализ индукционных стрелок Визе-Паркинсона, который показал, что литосфера обоих районов исследования содержит горизонт повышенной электропроводности.

Существенных замечаний к содержанию главы 3 нет, но требуется незначительная редакция: на стр. 53 сказано «Между *хорошо?* низкоомными слоями...» – требуется редакция; на с. 55 – ошибка в слове; на с. 58 – требуется редакция; на с. 59 глава заканчивается рисунком, что не рекомендуется в публикациях.

В главе 4. «**Изучение берегового эффекта**» проводится тщательное изучение берегового эффекта и его особенностей, обусловленных сложной конфигурацией береговой линии восточного побережья полуострова, наличием островных дуг и глубоководных желобов. Для этого применялось численное трехмерное моделирование магнитотеллурического поля. При этом трехмерная геоэлектрическая модель построена на основе батиметрических данных по [Селиверстов, 2009], а для верхнего слоя на суше приняты средние по региону геоэлектрические параметры по [Мороз, 1991]. Обобщенные параметры глубинных геоэлектрических разрезов континента взяты из работы [Ваньян, 1997]. Для изучения природы берегового эффекта и особенностей его воздействия на кривые МТЗ моделирование проведено в точках, расположенных на разных удалениях от береговой линии. Прямая задача решалась в диапазоне периодов от 0.1 до 10 000.0 с. Помимо продольных и поперечных кривых в каждом пункте моделирования рассчитывалась

локально-нормальная кривая, отвечающая геоэлектрическому разрезу, не искаженному влиянием морской воды.

По взаимному расположению кривых был выделен двумерный и трехмерный региональный береговой эффект. Двумерный эффект выделен автором в центральной части полуострова и в центре Камчатского перешейка. Для поперечных кривых он выражен в виде затягивания амплитудных кривых вверх, а для продольных кривых – в виде затягивания вниз по уровню кажущегося сопротивления.

Сильный трехмерный региональный береговой эффект отмечается в южной оконечности Камчатки. В этом районе поперечные амплитудные кривые характеризуются наиболее крутыми углами наклона восходящих ветвей. На продольных амплитудных кривых прослеживается минимум, соответствующий периоду 4900 с. Локальный береговой эффект начинает проявляться на меньших периодах (первые десятки секунд). Он ярко выражен на восточном побережье в точках моделирования, расположенных вблизи заливов и полуостровов. Причиной его возникновения, по мнению автора, является сложная конфигурация береговой линии. По-видимому, индуцированные морские токи обтекают полуостров и концентрируются в заливах, создавая локальные трехмерные эффекты, которые в зависимости от места наблюдения по-разному проявляются на продольных и поперечных кривых. Из результатов исследований, приведенных в главе 4, можно сделать вывод о том, что причины регионального и локального трехмерных береговых эффектов, хорошо аргументированы и подтверждают первое защищаемое положение автора.

Существенных замечаний к содержанию главы 4 нет. Однако, как и в главе 3, текст заканчивается рисунком, что не принято в научных публикациях.

В главе 5. **«Интерпретация МТЗ в районах восточного побережья южной и северной Камчатки»** отражены результаты моделирования экспериментальных данных МТЗ с учетом действия берегового эффекта. При этом фоновый геоэлектрический разрез, окружающий рабочую область модели, принят автором двумерным.

Согласно полученной модели, в юго-восточном побережье Камчатки верхняя часть разреза до глубин 1.5–2 км характеризуется низким удельным электрическим сопротивлением (от 50 до 150 Ом·м). Исключением является вулкан Вилучин-

ский, где данный параметр до глубины 2 км, по данным автора, принимает значение 300 Ом·м и возрастает до 3000 Ом·м на глубинах 20–30 км. Существование же низкоомной аномалии под вулканом Мутновский на глубине от 1 до 2 км (50 Ом·м), находящегося в 50 км к юго западу от Вилючинского, автором связывается с зоной тектонического нарушения, которое рассматривается как резервуар, содержащий минерализованные растворы. От отметки 2 км под этим вулканом начинается суб-вертикальная высокоомная аномалия с удельным электрическим сопротивлением от 1000 до 10000 Ом·м.

Верхняя часть разреза земной коры (до 2 км) в юго-западной части района исследований также выражается слоем низкого удельного электрического сопротивления (50 Ом·м).

Геоэлектрический разрез в районе северо-восточного побережья Камчатки характеризуется изменением удельного электрического сопротивления в широких пределах от первых единиц до 5000 Ом·м в юго-восточной части исследуемого района и плавным изменением этого параметра в северо-восточной части. Здесь удельное электрическое сопротивление принимает значения от 10 до 100 Ом·м.

По данным автора, мощность низкоомной толщи кайнозойских отложений с удельным электрическим сопротивлением порядка 10 Ом·м составляет 1 км и отвечает терригенным породам осадочно-вулканогенного чехла впадин.

В литосфере выполненные исследования позволили автору выделить низкоомный слой (5–15 Ом·м) мощностью до 30 км на всей площади исследования, глубина погружения кровли которого варьирует от 10 до 35 км. Этот результат подтверждается ранее полученными геоэлектрическими данными [Нурмухамедов, 2003]. В целом, приведенные в главе 5 материалы отчетливо доказывают возможность использования двух- и трехмерных моделей магнито-теллурического поля с определенными ограничениями периодов для изучения электропроводности и особенностей структуры литосферы, что положено автором в основу второго и третьего защищаемых положений.

Замечания по главе:

1. На с. 77 сказано, что «Обратная задача МТЗ является некорректной и неоднозначной, т.к. незначительные изменения в исходных данных зачастую вызывают

сильные изменения в конечных результатах». Это не так. Подобное утверждение характеризует *неустойчивость решения* любой задачи математической физики, а не его корректность или однозначность.

2. На с. 78 (рис. 5.1) указано, что в районе профиля XIII отчетливо выражена аномалия пониженного удельного электрического сопротивления, которая «отражена в пониженной интенсивности поля силы тяжести». На с. 79 отмечено, что в районах профилей IX–XI выделяется аномалия повышенного удельного электрического сопротивления, которая также находит отражение в виде аномалий гравитационного поля, но только повышенной интенсивности. А на ст. 81 отмечено, что «толща повышенной электропроводности характеризуется аномалией пониженной напряженности гравитационного поля» (кстати, ни в одном из перечисленных случаев, как и во всей работе (например, на рис. 5.6, 5.8), не указано, в какой редукции рассматривается гравитационное поле). Создается впечатление, что причина любой магнитной аномалии в районе исследований имеет однозначное подтверждение в аномалиях силы тяжести, вне зависимости от интенсивности и знака последней. Однако при рассмотрении рис. 5.1, на котором показаны профили и графики геофизических аномалий, у рецензента не складывается столь однозначное суждение о взаимосвязи гравитационных и магнитных аномальных полей.

Во-первых, низкоомная аномалия, судя по рис. 5.1, фиксируется точно над вулканом «Горелый», а понижение поля силы тяжести охватывает область профилей X, XI, XII и XIII (около 50 км), да и то только своей юго-западной частью.

Во вторых. Диапазон изменения аномалий силы тяжести в районах вулканов, расположенных на профиле «Южный» чрезвычайно широк: от -6 у.ед. до +10 у.ед. Следовательно, нахождение вулкана в этом диапазоне изменения гравитационного поля ничего не говорит о составе пород геологического разреза, поскольку в этих пределах может находиться практически любая разновидность горных пород. Поэтому можно полагать, что совпадение магнитных и гравитационных аномалий различных спектров, по-видимому, не всегда содержит достоверную информацию о вещественном составе и структуре глубоких недр.

3. В подписи к рис. 5.2 не указана редукция аномалий силы тяжести; описание рис. 5.2 проведено со ссылкой на «поле силы тяжести» в неизвестной редукции;

при характеристике гравитационного поля уместно пользоваться терминами «величина», «интенсивность», «уровень» и др. Термин «напряженность», как правило, характеризует вектор силы притяжения, а не силы тяжести.

4. На с. 82. говорится о «аномальном поведении теллурического, магнитного и гравитационного полей». По мнению рецензента, не следует писать «аномальное поведение полей», необходима другая редакция, поскольку сам факт регистрации изменений геофизического поля, например, гравитационного, уже свидетельствует о его «аномальности».

5. На с. 90 (рис. 5.6) не совсем понятно, с какой целью показан график аномалий силы тяжести. Как следует из рисунка, минимумы и максимумы этого поля в большинстве случаев хаотично соотносятся с аналогичными экстремумами графика аномального магнитного поля и, в данном случае, по-видимому, не содержат достоверной информации о глубинной структуре и вещественном составе горных пород.

Достоверность диссертационной работы

Достоверность научных положений работы определяется фундаментальной теорией, на которой основан метод магнитотеллурических зондирований и которая имеет достаточно развитый математический аппарат для решения прямых и обратных задач электроразведки, а также представительным фактическим материалом, полученным автором за весь период геолого-геофизических исследований Восточной Камчатки. Достоверность экспериментальных данных, используемых в диссертационной работе, обеспечивается использованием современной аппаратуры для проведения магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований и стандартных методик расчетов магнитотеллурических параметров. Обоснованность и достоверность научных выводов, содержащихся в работе, подтверждаются согласованностью полученных геоэлектрических моделей с ранее полученными результатами других исследователей.

Научная новизна работы

На основе анализа экспериментальных данных и результатов численного трехмерного моделирования магнитотеллурического поля Камчатки впервые получены геоэлектрические модели восточного побережья северной и южной Камчатки с учетом действия берегового эффекта. Глубинность моделей составляет 80 км. Ли-

тосферный проводящий горизонт, выделенный в обоих районах исследования восточной Камчатки, залегает на разных глубинах, и максимальное приближение кровли слоя к поверхности наблюдается в юго-восточном разрезе.

В диссертационной работе также представлены оригинальные научные результаты, имеющие отношение к методике интерпретации данных МТЗ, полученных в прибрежной зоне. Определены периоды, с которых начинается действие берегового эффекта на продольные и поперечные кривые МТЗ, и выделены особенности локального и регионального трехмерного берегового эффектов.

Большинство данных являются новыми, как по фактическому материалу для конкретных изучаемых объектов, так и по интерпретации. Полученные результаты является новыми и вполне достоверными.

Рекомендации по практическому использованию материалов диссертации

Результаты диссертации О.М. Самойловой будут полезны специалистам в области глубинной геоэлектрики, так как в ней сформулирована и показана на примере двух региональных профилей современная методика интерпретации данных МТЗ, полученных в переходной зоне «океан-континент».

Предложенная методика по учету влияния локального и регионального береговых эффектов на кривые МТЗ может быть использована для исследования глубинной электропроводности прибрежных районов. На Камчатке разработанную методику рекомендуется применять для изучения геоэлектрического разреза восточных полуостровов, расположенных в зоне субдукции, где в сильной мере проявляется трехмерный береговой эффект, как региональный, так и локальный.

При проведении двумерной инверсии материалов автором рекомендуется использовать в качестве основных продольные значения кажущегося сопротивления и фаз импеданса, т.к. они, в отличие от поперечных значений, в меньшей степени искажены влиянием трехмерного берегового эффекта (продольные кривые свободны от такого влияния до периода 400 с, а поперечные – до периода 80 с). В предложенной работе установлено, что для использования всего диапазона периодов, необходимо переходить к классу трехмерных моделей, что продемонстрировано на примере двух профилей.

Разработанные автором геоэлектрические модели земной коры и верхней мантии восточного побережья северной и южной Камчатки рекомендуется положить в основу создания глубинных геофизических моделей с привлечением данных глубинных МТЗ, сейсмологии, теплового потока, поля силы тяжести, аномального магнитного поля и другой геолого-геофизической информации. Такие геофизические модели, по мнению автора, дадут возможность выявить области питания зон современного вулканизма, определить существование астеносферного проводящего слоя, природа которого может быть связана с частичным плавлением ультраосновных пород.

Выводы и рекомендации проведенных исследований целесообразно использовать на предприятии ОАО «Камчатгеология» и в компании ООО «Северо-Запад», выполняющих полевые работы в рамках долговременной программы геолого-геофизических исследований земной коры и верхней мантии Камчатки.

Основные положения диссертации нашли отражение в публикациях автора, а также в докладах на российских и международных научных конференциях разного уровня. По теме диссертации соискателем опубликовано семнадцать статей, четыре из которых в журналах, входящих в список изданий, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Отмечая достоинства диссертационной работы, ее практическую значимость и научную новизну, следует высказать некоторые замечания.

Общее замечание к работе

Список литературы составлен с ошибками. На стр. 19 указана ссылка [Мороз, Нурмухамедов, 2008, 2009], но в списке литературы этих работ нет; на источники под №№ 54 и 58 нет ссылок в тексте; ссылки под №№ 68 и 71 одного года, и непонятно, на какую именно работу ссылается автор в каждом конкретном случае.

Общие замечания к работе, требующие пояснений от соискателя

1. Как и какие гравитационные аномалии использует автор при интерпретации электроразведочных данных в решении поставленных задач?
2. Какова точность аномалий силы тяжести, используемых автором?
3. На профиле «Северный» в районе VI кривые МТЗ указывают на присутствие в

разрезах земной коры низкоомного горизонта. Какова причина этого, если на всех остальных участках профиля кривые МТЗ указывают на существование такого горизонта в литосфере?

Высказанные рецензентом замечания имеют, в основном, рекомендательный характер, не снижают общей высокой значимости представленной к защите диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Заключение

Работа О.М. Самойловой является завершенным научным исследованием на актуальную тему, выполненным на высоком научном уровне. Диссертация содержит новое оригинальное решение актуальной научно-практической задачи по созданию моделей электропроводности литосферы восточного побережья северной и южной Камчатки по данным магнитотеллурических зондирований (МТЗ) и определению возможной природы выявленных аномалий для создания глубинных геофизических моделей, позволяющих выявить области питания зон современного вулканизма.

Диссертация в целом является хорошо оформленной, полноценной квалификационной работой, написанной хорошим литературным языком. Автореферат хорошо оформлен, достаточно полно отражает основные этапы и содержание работы, суть исследования и отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней. В работе решены важные научные и практические проблемы учета регионального и локального берегового эффекта, оказывающих влияние на восточное побережье Камчатки за счет обтекающих ее токов и построены двух- и трехмерные геоэлектрические модели магнитотеллурического поля (МТ-поля) с целью изучения электропроводности литосферы.

Представленная О.М. Самойловой диссертационная работа по актуальности, новизне, личному вкладу и практическому значению, достоверности положений и выводов, полностью удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842.

Ольга Михайловна Самойлова, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент

Турутанов Евгений Хрисанфович, доктор геолого-минералогических наук, доцент, главный научный сотрудник, зав. лабораторией комплексной геофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН). Адрес: 664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

Тел.: (3952)428792; Fax: (3952)426900; E-mail: tur@crust.irk.ru

Я, Турутанов Евгений Хрисанфович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«14» сентября 2018 г.

Подпись Е.Х. Турутанова

заверяю

Начальник отдела кадров

